

JP-A 57-58791

Taking note of the fact that when this kind of a machine to electricity transducer is driven by a constant-current regulated power, as described above, output error due to temperature is proportional to the sum $\alpha + \beta$ of each temperature coefficient of resistance and gauge factor of a strain to electricity transducer and that surface impurity concentration that this $\alpha + \beta$ become zero exist at two place as shown in Fig. 1 by broken line, we have found surface impurity concentration so that $\alpha + \beta$ substantially become zero by repetition of various experiments. Therefore, we have succeeded in fabricating the machine to electricity transducer in which output error may be always in place within tolerance when ambient temperature widely vary.

Thus, it is an object of a first invention to provide a machine to electricity transducer in which an elastic substrate made of single crystal is fixed at its peripheral portion on a surface of a base to form a strain generating part at which strain is generated by external pressure at a center portion thereof and a P type semiconductor strain to electricity transducer is formed on a surface of this strain generating part to connect with a constant-current regulated power thereby electrical output which is proportional to strain of the strain generating part is detected, wherein average conductivity of the transducer is $3.7 \times 10^2 - 6.0 \times 10^2$ ($1/\Omega \text{ cm}$) and (the length of a minor axis on a surface of the strain generating part)/(the

THIS PAGE BLANK (USP)

thickness of the strain generating part) is 2-60.

Therefore, in the machine to electricity transducer of the first invention, since average conductivity of the transducer is within above-mentioned range and the length of the minor axis for the thickness of the strain generating part is within above-mentioned range, when the transducer is driven by the constant-current regulated power, pressure applied to the strain generating part is converted into electric signal by piezo resistance effect to output. Concurrently, since it is configured so as to be unaffected by output compensation for temperature and the difference of thermal expansion coefficient of the base, output error may be reduced to a minimum and output of the transducer is stabilized.

Furthermore, it is an object of a second invention to provide a machine to electricity transducer in which an elastic substrate made of single crystal is fixed at its peripheral portion on a surface of a base to form a strain generating part at which strain is generated by external pressure at a center portion thereof and a P type semiconductor strain to electricity transducer is formed on a surface of this strain generating part to connect with a constant-current regulated power thereby electrical output which is proportional to strain of the strain generating part is detected, wherein average conductivity of the transducer is $3.7 \times 10^2 - 6.0 \times 10^2$ ($1/\Omega \text{ cm}$), the base is an insulating material having thermal expansion coefficient of $2.6 \times 10^{-6} - 3.4 \times 10^{-6}$ ($1/^\circ\text{C}$) and (the length of the minor axis on the surface of the strain generating part)/(the thickness

THIS PAGE BLANK (USPTO)

of the strain generating part) is 60-150.

Therefore, in the transducer of the second invention, since average conductivity of the transducer, thermal expansion coefficient of the base and the length of the minor axis for the thickness of the strain generating part are within above-mentioned range respectively, when the transducer is driven by the constant-current regulated power, pressure applied to the strain generating part is converted into electric signal by piezo resistance effect to output. Concurrently, since the effect by output compensation for temperature and the difference of thermal expansion coefficient of the base is considered sufficiently, output error may be reduced to a minimum and output of the transducer is stabilized.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

KEY WORDS 担当者(〒○○○)			
目	的	機	成
C12		SE12	
C16			

3-0164-TM

C ⑨日本国特許庁(JP)

⑩特許出願公告

⑫特許公報(B2) 昭57-58791

⑬Int.Cl.

識別記号

庁内整理番号

⑭公告 昭和57年(1982)12月11日

H 01 L 29/84

7357-5F

発明の数 2

要 判 定

(全7頁)

川島 課長

⑮機械-電気変換器

(前記起歪部の表面における短軸線の長さ)

(前記起歪部の厚さ)

⑯特 願 昭51-137954

⑰出 願 昭51(1976)11月17日

(前置審査に係属中)

⑱公 開 昭53-62991

⑲昭53(1978)6月5日

⑳発 明 者 早川清春

大府市共和町奥谷6丁目11番地

㉑発 明 者 中村博

名古屋市中区外新町2丁目61番地

㉒発 明 者 杉山進

名古屋市緑区鳴子町1丁目6番地

㉓出 願 人 株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字
横道41番地の1

㉔代 理 人 弁理士 高橋祥泰

㉕引用文献

特 公 昭48-6310(JP,B2)

特 開 昭51-22382(JP,A)

特 開 昭51-33577(JP,A)

特 開 昭51-46088(JP,A)

半導体トランジスタ 神山雅英編 1973.3.

25 第214頁 工業調査会発行

㉖特許請求の範囲

1 基台の表面にシリコン単結晶からなる弾性基板をその周縁部にて固着してその中央部に外圧により歪が生じる起歪部を形成し、この起歪部の表面にP形半導体歪-電気変換素子を形成して、この歪-電気変換素子に定電流電源を接続することより前記起歪部の歪に比例する電気的出力を検出するようにした機械-電気変換器において、前記歪-電気変換素子の平均導電率が $3.7 \times 10^2 \sim 35$ の

6.0×10^2 ($1/\Omega\text{cm}$)であり、かつ

が2~60であることを特徴とする機械-電気変換器。

5 2 基台の表面にシリコン単結晶からなる弾性基板をその周縁部にて固着してその中央部に外圧により歪が生じる起歪部を形成し、この起歪部の表面にP形半導体歪-電気変換素子を形成して、この歪-電気変換素子に定電流電源を接続することより前記起歪部の歪に比例する電気的出力を検出するようにした機械-電気変換器において、前記歪-電気変換素子の平均導電率が $3.7 \times 10^2 \sim 6.0 \times 10^2$ ($1/\Omega\text{cm}$)であるとともに、前記基台が $2.6 \times 10^{-6} \sim 3.4 \times 10^{-6}$ ($1/^\circ\text{C}$)

15 の熱膨張係数を有する絶縁材料であり、かつ
(前記起歪部の表面における短軸線の長さ)

(前記起歪部の厚さ)

が60~150であることを特徴とする機械-電気変換器。

20 発明の詳細な説明

本発明は、例えば、固体に加わる荷重又は力、若しくは液体、気体、流体の圧力等の機械量を検出して電気量に変換するための機械-電気変換器に係り、特に半導体のピエゾ抵抗効果を利用した

25 機械-電気変換器の改良に関するものである。

近年、この種の機械-電気変換器は種々開発されてきており、例えば、N形シリコン単結晶からなる弾性基板に外圧により歪を生じる薄肉状の起歪部を形成し、この起歪部の表面に半導体不純物を拡散プレーナ法により拡散させてP形の歪-電気変換素子をブリッジ回路に形成し、さらに前記弾性基板を所定の基台の表面に接着して、起歪部の歪に比例する電気的出力を歪-電気変換素子によつて検出するようにした機械-電気変換器があ

ところで、このような機械-電気変換器においては、周知のとおり、歪-電気変換素子のゲージ

3

率及び抵抗がそれぞれ負の温度係数 β 及び正の温度係数 α を有していて、周囲温度の影響を受けて変化し、またこれら各温度係数 α 、 β は、第1図に示すごとく、歪一電気変換素子の表面不純物濃度に応じて異なっている。このため、従来は、この歪一電気変換素子の表面不純物濃度を、第1図に示すごとく、 10^{19} (原子/cm²) 近傍の値に定めて、抵抗の温度係数 α を出来る限り小さくするような対策が提案されてきた。しかしながら、このような歪一電気変換素子を採用した機械一電気変換器を定電圧電源によつて駆動した場合にはその出力の温度による誤差がゲージ率の温度係数 β に比例して生じ、また定電流電源によつて駆動した場合には出力の温度誤差が抵抗及びゲージ率の各温度係数の和 $\alpha + \beta$ に比例して生じて、いずれの場合においても、出力の温度誤差が実用上の許容範囲内に収まり得なかつた。

従つて、従来は、機械一電気変換器の温度による出力誤差を許容範囲内に収めるために、機械一電気変換器に出力温度補償回路を設け、この出力温度補償回路を面倒な回路調整を長時間に亘つて行なうことにより所定の温度補償条件下に設定するようにしているのが実情であつた。

このような問題を解決するために、本発明者等は、この種の機械一電気変換器を定電流電源により駆動した場合に、上述したごとく、その温度による出力誤差が歪一電気変換素子の抵抗とゲージ率の各温度係数の和 $\alpha + \beta$ に比例すること、及びこの和 $\alpha + \beta$ が零となる表面不純物濃度が、第1図にて破線により示すごとく、二箇所存在することに着目して、実験を種々繰返すことにより実質的に $\alpha + \beta$ が零となるような表面不純物濃度を見出した。これによつて、本発明者等は、周囲温度が広範囲に変化しても、出力誤差を常に許容範囲内に収め得るような機械一電気変換器の製作に成功した。

すなわち、第1の発明は、基台の表面にシリコン単結晶からなる弾性基板をその周縁部にて固着してその中央部に外圧より歪が生じる起歪部を形成し、この起歪部の表面にP形半導体歪一電気変換素子を形成して、この歪一電気変換素子に定電流電源を接続することにより前記起歪部の歪に比例する電氣的出力を検出するようにした機械一電気変換器において、前記歪一電気変換素子の平均導

4

電率が $3.7 \times 10^2 \sim 6.0 \times 10^2$ ($1/\Omega \text{cm}$) であり、

(前記起歪部の表面における短軸線の長さ)

(前記起歪部の厚さ)

が2~60であることを特徴とする機械一電気変換器にある。

しかして、第1発明の機械一電気変換器は、前記平均導電率を上記範囲とすると共に、起歪部厚さに対する前記短軸線の長さを前記範囲としたので、定電流電源によつて駆動した場合、起歪部に加わる圧力は、ピエゾ抵抗効果により電気信号に変換され出力される。同時に、温度に対する出力補償ならびに基台の熱膨張係数の相違による影響をうけない様にしてあるので、出力誤差を最小限におさえることができ、該変換器の出力は安定する。

更に、第2発明は基台の表面にシリコン単結晶からなる弾性基板をその周縁部にて固着してその中央部に外圧により歪が生じる起歪部を形成し、この起歪部の表面にP形半導体歪一電気変換素子を形成して、この歪一電気変換素子に定電流電源を接続することにより前記起歪部の歪に比例する電氣的出力を検出するようにした機械一電気変換器において、前記歪一電気変換素子の平均導電率が $3.7 \times 10^2 \sim 6.0 \times 10^2$ ($1/\Omega \text{cm}$) であるとともに、前記基台が $2.6 \times 10^{-6} \sim 3.4 \times 10^{-6}$ ($1/^\circ\text{C}$) の熱膨張係数を有する絶縁材料であり、かつ、

(前記起歪部の表面における短軸線の長さ)

(前記起歪部の厚さ)

が60~150であることを特徴とする機械一電気変換器にある。

しかして、第2発明の機械一電気変換器は前記平均導電率、基台の熱膨張係数、起歪部の厚さに対する前記短軸線の長さの各数値範囲を、前記のようにしたので、定電流電源によつて駆動した場合、起歪部に加わる圧力はピエゾ抵抗効果により電気信号に変換され、出力される。同時に温度に対する出力補償ならびに基台の熱膨張係数の相違による影響を十分に考慮してあるので出力誤差を最小限におさえることができ、該変換器の出力は安定する。

以下本発明の一実施例を図面により説明すると、第2図及び第3図は本発明を実施した機械一電気

5

変換器の主要部を示して、図において符号10はN形シリコン単結晶(比抵抗: $1\Omega\text{cm}$)よりなる弾性基板を示し、符号20は結晶化ガラスにより形成した基台を示している。弾性基板10はその周縁部に基台20の上面21に低融点ガラス30(熱膨張特性による影響をなくするため、例えば、 $3\sim 4\mu$ の厚さの鉛ほう珪酸ガラスを採用している)によつて所定の温度(約 500°C)下に接合されていて、その中央部に薄肉状に形成した円形状(直径: 3mm)の起歪部11は、基台20に設けた空所22に対向している。なお、弾性基板10の上面は酸化被膜12により被覆されている。

弾性基板10に設けた起歪部11の上面11aには、第2図及び第3図に示すごとく、酸化被膜12の一部を除去した部分に所定量の硼素を拡散ブレーナ法により選択拡散させることによつて、 $2.4\times 10^{20}\sim 4.0\times 10^{20}$ (原子/ cm^3)の範囲内の表面不純物濃度を有する4箇のP形半導体歪一電気変換素子 $g_1\sim g_4$ が一体的に配設されていて、これら各歪一電気変換素子 $g_1\sim g_4$ は、外圧によつて起歪部11に生じる歪に比例したピエゾ抵抗効果にもとづく電氣的出力を生じる。この場合、上述した各歪一電気変換素子 $g_1\sim g_4$ の不純物濃度は、第1図にて破線により示した曲線の高濃度側交点に対応する不純物濃度に非常に近接した値となつている。なお、各歪一電気変換素子 $g_1\sim g_4$ は、酸化被膜12の上面に設けた4箇のリード $\ell_1\sim \ell_4$ (アルミニウム蒸着膜により形成されている)によりブリッジ接続されていて、これら各リード $\ell_1\sim \ell_4$ を介して、各歪一電気変換素子 $g_1\sim g_4$ の電氣的出力が、図示しない電氣的接続手段により外部にとり出される。

ところで、上述した機械一電気変換器において、歪一電気変換素子 $g_1\sim g_4$ の各表面不純物濃度を $2.4\times 10^{20}\sim 4.0\times 10^{20}$ (原子/ cm^3)の範囲内に設定するようにした根拠について説明する。本発明者等はN形シリコン単結晶からなる弾性基板を多数準備して、これら各弾性基板ごとにその起歪部表面に異なつた表面不純物濃度を有するP形の半導体歪一電気変換素子を拡散ブレーナ法により4個ずつ形成し、これら各歪一電気変換素子を備えた弾性基板を、この弾性基板とはほぼ同一の

6

熱膨張係数を有する結晶化ガラスより形成した基台の表面に接着して機械一電気変換器を製作した。そして、この機械一電気変換器を定電流電源により駆動して周囲温度($-20^\circ\text{C}\sim +80^\circ\text{C}$)による出力誤差を測定したところ、第4図に示すごとく、表面不純物濃度を $2.4\times 10^{20}\sim 4.0\times 10^{20}$ (原子/ cm^3)の範囲内に設定すれば、温度による出力誤差が $\pm 3\%$ 以内に収まることが確認できた。また、温度に対する出力誤差の直線性についても検討したところ、第4図に示すごとく、最も直線性の悪い表面不純物濃度 3.3×10^{20} (原子/ cm^3)の場合において、基準線S(周囲温度 -20°C 及び $+80^\circ\text{C}$ におけるグラフ上の各点を互いに結んだ直線)からのずれが 0.3% 以内に収まり、非常に直線性のよいことが分かつた。

なお、上記実験過程において、各歪一電気変換素子の不純物濃度の決定に際しては、ステイン法により測定した拡散層(歪一電気変換素子)の深さ X_j と、四探針法により測定した拡散層(歪一電気変換素子)の層抵抗 ρ_s とによつて、拡散層(歪一電気変換素子)の平均導電率 $\sigma=1/\rho_s X_j$ を求め、ジェイ・シー・アーグウィン(J.C. Irvin)の補正関数分布図表[Bell System Technical Journal Vol XL(1967)・387]を利用した。

また、上記実験過程において、本発明者等は -20°C 及び $+80^\circ\text{C}$ にて $\alpha+\beta=0$ を実験的に満足する低濃度側の不純物濃度(第1図参照)をも見出した。そしてこの不純物濃度を有する歪一電気変換素子を備えた機械一電気変換器を製作し、これを定電流電源により駆動して周囲温度($-20^\circ\text{C}\sim +80^\circ\text{C}$)による出力誤差を測定したところ、第5図に示すごとく、この出力誤差曲りは 2.5% に達することが確認された。このことから、機械一電気変換器に採用できる表面不純物濃度を、低濃度側にて設定することは実質上困難であることが分かつた。

また、本発明者等は、基台20を構成する結晶化ガラスの熱膨張係数の影響を確認するため、N形シリコン単結晶からなる弾性基板を多数準備し、これら各弾性基板に $20\sim 100\mu$ の範囲内に異なつた厚さを有する起歪部をそれぞれ形成し、前記実験にて確認した $2.4\times 10^{20}\sim 4.0\times 10^{20}$ (原子/ cm^3)の範囲内に異なつた表面不純物濃

7

度を有するP形半導体歪一電気変換素子を各起歪部表面に拡散プレーナ法により形成し、さらに $2.4 \times 10^{-6} \sim 3.5 \times 10^{-6}$ ($1/^\circ\text{C}$) の範囲内にて異なる熱膨張係数を有する結晶化ガラスにより多数の基台を形成し、これら弾性基板及び基台を組合わせて多数の機械一電気変換器を形成した。

本発明者等は上述のように形成した各機械一電気変換器を周囲温度 $-20^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$ の範囲内にて定電流電源で駆動してみたところ、起歪部の厚さが 50μ 以上であれば、第7図にて Q_1, Q_2 により示すごとく、機械一電気変換器の温度による出力誤差は基台の熱膨張特性による影響を殆んど受けず、歪一電気変換素子の表面不純物濃度 (第6図にて直線P、参照) のみによつて影響されることが確認された。すなわち、この場合には、表面不純物濃度が $2.4 \times 10^{20} \sim 4.0 \times 10^{20}$ (原子/ cm^3) の範囲内にあれば、機械一電気変換器の温度による出力誤差が $\pm 3\%$ 以内に収まることが分る。

また、起歪部の厚さが 50μ 以下になると、機械一電気変換器の温度による出力誤差は歪一電気変換素子の表面不純物濃度及び基台の熱膨張係数の両者によつて相乗的に影響されることが確認された。しかし、この相乗的な出力誤差については、第6図の直線P、にて表面不純物濃度のみにより決まる出力誤差と、第7図にて起歪部の厚さと基台の熱膨張係数との関係を示す曲線 $Q_2 \sim Q_4$ とを考慮すればよい。

例えば、基台の熱膨張係数の影響が顕著にあらわれる起歪部の厚さが 20μ (第7図にて曲線 Q_4 、参照) である場合、表面不純物濃度 2.4×10^{20} (原子/ cm^3) に対応する出力誤差は -3% (第6図参照) であり、機械一電気変換器の相乗的な出力誤差を $\pm 3\%$ 以下にするためには、基台の熱膨張係数を、これによつて影響される出力誤差の変化が最大 $+6\%$ となる熱膨張係数 2.6×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$) より大きくなるようにすればよいことが分かる。また、表面不純物濃度 4.0×10^{20} (原子/ cm^3) に対応する出力誤差は $+3\%$ (第6図参照) であり、機械一電気変換器の相乗的な出力誤差を -3% 以上にするためには、基台の熱膨張係数を、これによつて影響される出力誤差の変化が最大 -6% となる熱膨張係数 3.4×10^{-6}

8

($1/^\circ\text{C}$) より小さくなるようにすればよいことが分かる。

しかし、このような操作を不純物濃度及び起歪部の厚さを変えて繰返すことにより、機械一電気変換器の濃度による相乗的な出力誤差を $\pm 3\%$ 以内に収めるための基台の熱膨張係数が $2.6 \times 10^{-6} \sim 3.4 \times 10^{-6}$ ($1/^\circ\text{C}$) として得られる。従つて、弾性基板10の起歪部11の厚さが 50μ 以下の場合においても、基台の熱膨張係数を上述のごとく設定することにより、機械一電気変換器の出力の温度誤差を $\pm 3\%$ 以内に収めることができる。

なお、上記のように基台20の熱膨張係数を設定しておけば、基台20に弾性基板10を低融点ガラス30によつて所定の温度 (約 500°C) 下にて接着した後常温まで冷却しても、弾性基板10と基台20との間に残留歪が生じることは殆んどなく、この残留歪に基づく影響が起歪部11に生じることはない。

以上説明した圧力一電気変換器の例として、歪一電気変換素子の表面不純物濃度を 3.3×10^{20} (原子/ cm^3) とし、起歪部の厚さを 50μ とし、結晶化ガラスからなる基台の熱膨張係数を 2.75×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$) として製作した機械一電気変換器を定電流電源により駆動した場合、 $-20^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$ の温度変化に対して出力誤差は $0 \sim +2\%$ であつた。

また、表面不純物濃度を 2.5×10^{20} (原子/ cm^3) とし、起歪部の厚さを 23μ とし、基台の熱膨張係数を 2.95×10^{-6} ($1/^\circ\text{C}$) として製作した機械一電気変換器においては、 $-20^\circ\text{C} \sim +80^\circ\text{C}$ の温度変化に対して出力誤差は $\pm 1\%$ であつた。

なお、上記実施例においては、基台20を結晶化ガラスにより形成するようにしたが、これに限らず、コージライト磁器、その他所定の範囲内の熱膨張係数を有する絶縁材料によつて基台を形成するようにしてもよい。

また、本発明の実施に際しては、弾性基板10の起歪部11に、例えばイオン注入法又はエビタキシャル法によつて、 $3.7 \times 10^2 \sim 6.0 \times 10^2$ ($1/\Omega\text{cm}$) の範囲内の平均導電率を有する歪一電気変換素子を形成するようにしてもよい。この場合、歪一電気変換素子の形成方法によつて不純

9

物濃度の評価方法が一般に異なるため、拡散プレーナ法により設定した表面不純物濃度 $2.4 \times 10^{20} \sim 4.0 \times 10^{20}$ (原子/cm²) を平均導電率 $3.7 \times 10^2 \sim 6.0 \times 10^2$ ($1/\Omega\text{cm}$) に換算 (前述したステイン法及び四探針法により定まる。) し、この換算した平均導電率の範囲内に、エピタキシャル法又はイオン注入法により形成した歪一電気変換素子の平均導電率が収まるようにした。

また、上記実施例においては、弾性基板 10 を N 形シリコン単結晶により形成したが、この弾性基板 10 を P 形シリコン単結晶により形成してもよく、またこの場合に、例えば、一対の歪一電気変換素子を弾性基板の起歪部に形成し、他の一対の歪一電気変換素子を弾性基板の起歪部を除く部分に形成して実施してもよい。

また、上記実施例においては、起歪部を直径 3 mm の円形状に形成し、その厚さを 20μ 以上の範囲にて選んだ場合について説明したが、これに限らず、(起歪部直径) / ($2 \times$ 起歪部厚さ) が 1 ~ 7.5 の範囲内に収まるように起歪部の直径と厚さを選定すればよい。なお、前記比率が 7.5 より大なるときは、起歪部の直径が厚さに比べて大き過ぎ、起歪部にたわみが生じて歪一電気変換素子の出力特性が非常に悪くなり、また前記比率が 1 より小なるときは、起歪部の厚さが直径に比べて大き過ぎ、このような起歪部は實際上歪一電気変換素子の受感部としての役割を果たさない。

また、上記実施例においては、起歪部を円形状に形成したが、この起歪部を、例えば、多角形状

10

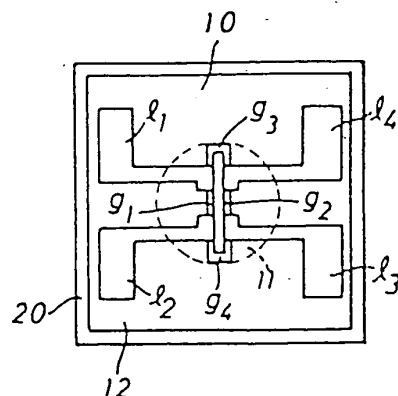
に形成してもよく、この場合に、前記比率における起歪部の直径は起歪部の表面における短軸線 (起歪部表面の中心を通りこの表面上に描かれる最も短い軸線) とすればよい。なお、本発明は上記実施例に限定されることなくさらにいくつかの実施態様によつて実現され得ることは勿論である。

図面の簡単な説明

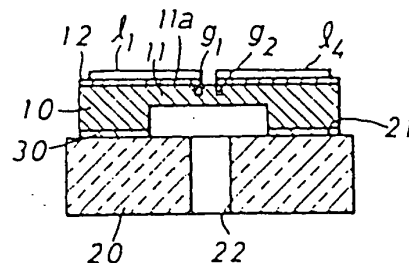
第 1 図は歪一電気変換素子におけるゲージ率及び抵抗の各温度係数 β 及び α と表面不純物濃度との関係を示すグラフ、第 2 図は本発明を実施した機械一電気変換器の要部平面図、第 3 図は同断面図である。第 4 図は、第 1 図の高濃度側にて $\alpha + \beta = 0$ を満足する表面不純物濃度の近傍の表面不純物濃度を有する歪一電気変換素子を備えた機械一電気変換器を製作し、これを定電流電源により駆動したときの出力誤差 (%) と周囲温度との関係を示すグラフ、第 5 図は、第 1 図の低濃度側にて $\alpha + \beta = 0$ を満足する表面不純物濃度の近傍の表面不純物濃度を有する歪一電気変換素子を備えた機械一電気変換器を製作し、これを定電流電源により駆動したときの出力誤差 (%) と周囲温度との関係を示すグラフである。また、第 6 図は歪一電気変換素子の表面不純物濃度と機械一電気変換器の温度による出力誤差との関係を示すグラフ、第 7 図は基台の熱膨張係数と機械一電気変換器の温度による出力誤差との関係を示すグラフである。

符号の説明 10…弾性基板、11…起歪部、20…基台： $g_1 \sim g_4$ …歪一電気変換素子。

第 2 図

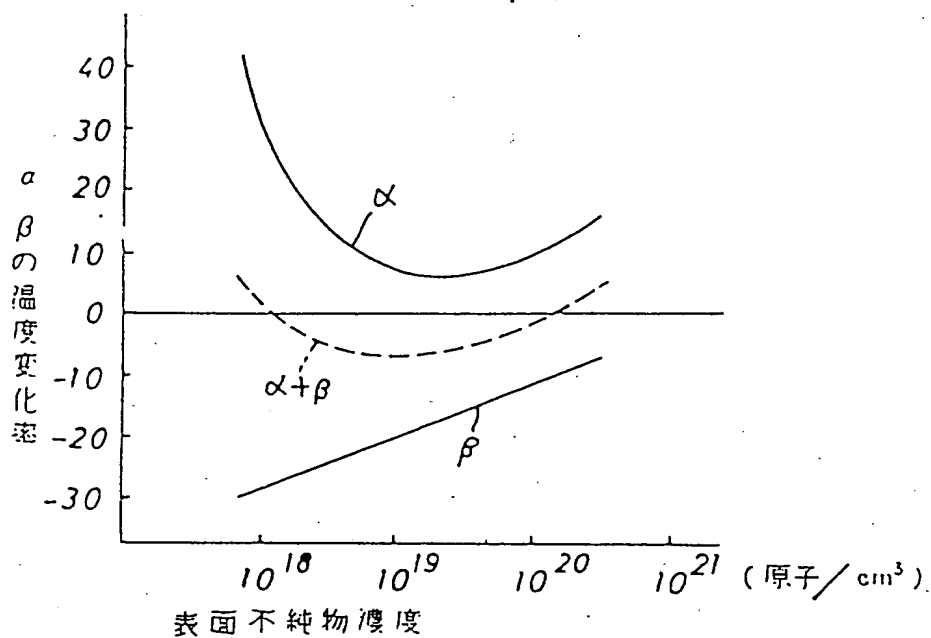


第 3 図

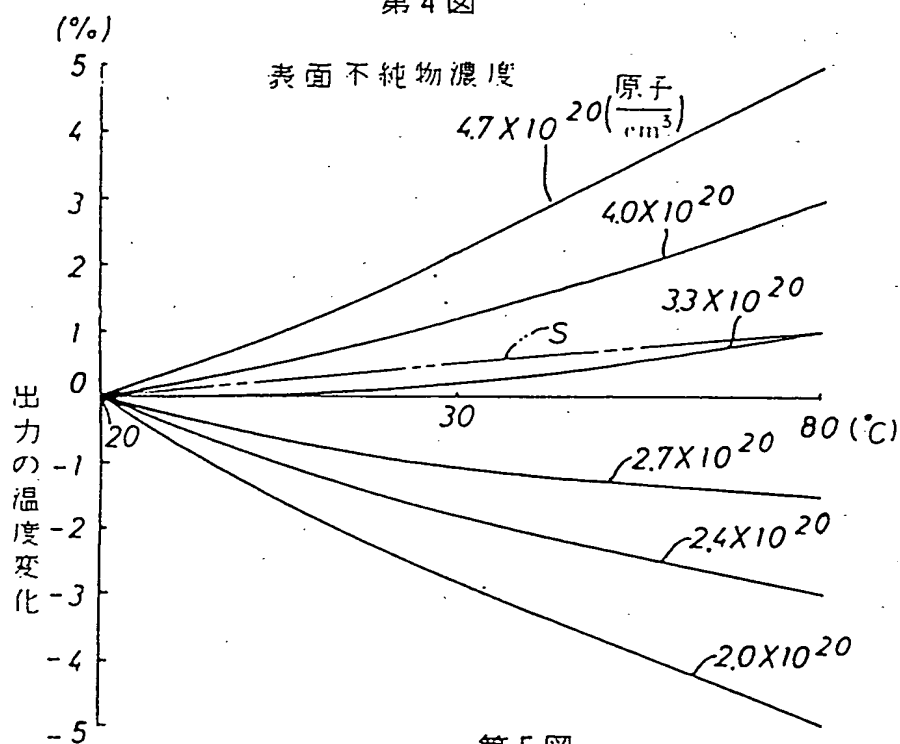


(% / 100 ° C)

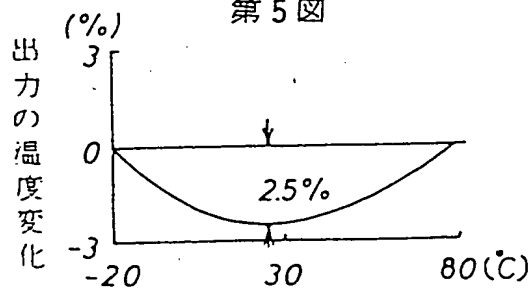
第 1 図



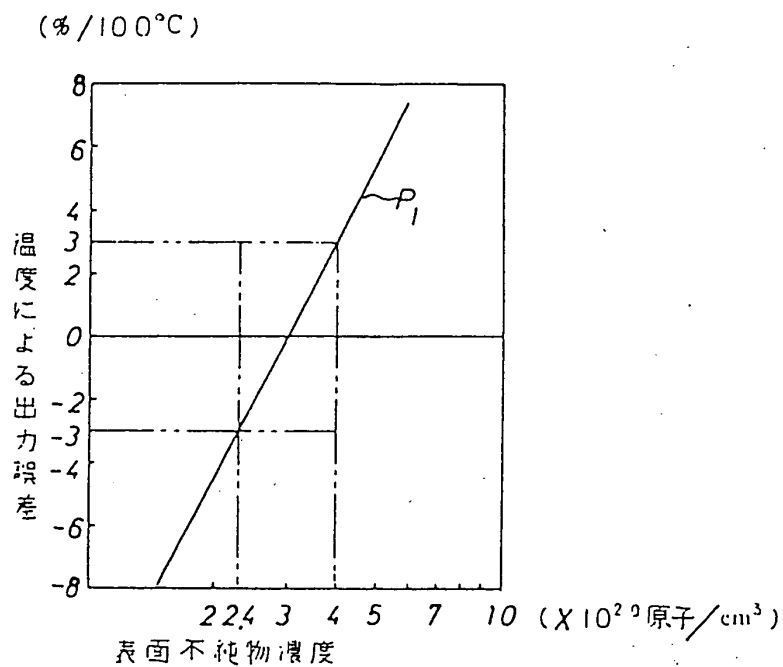
第 4 図



第 5 図



第6図



第7図

